

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 633.174.1;633.15: 631.962.4: 662.767.2

Н.Б. ГРАБОВСКИЙ, канд. с.-х. наук, доцент,
заведующий кафедрой технологий в растениеводстве
и защиты растений¹

Т.А. ГРАБОВСКАЯ, канд. с.-х. наук, доцент,
доцент кафедры общей экологии и экотрофологии¹
¹Белоцерковский национальный аграрный университет,
г. Белая Церковь, Украина

В.Л. КУРИЛО, доктор с.-х. наук, профессор
профессор кафедры сельскохозяйственных машин
Винницкий национальный аграрный университет,
г. Винница, Украина

Статья поступила 19 сентября 2018г.

**ВЫРАЩИВАНИЕ СОРГО САХАРНОГО И КУКУРУЗЫ
КАК БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В СОВМЕСТНЫХ ПОСЕВАХ**

Резюме. Актуальной задачей современной сельскохозяйственной науки является изучение биотических отношений, складывающихся в одновидовых и совместных посевах. В практике сельского хозяйства совместные посевы несут, прежде всего, функциональную нагрузку, в основном их роль связана с изменением качественных показателей продукции. В полевых исследованиях, которые проводились в течение 2013-2016 гг. в учебно-производственном центре Белоцерковского национального аграрного университета, исследовали гибриды кукурузы Моника 350 МВ, Быстрица 400 МВ, сорт сорго сахарного Силосное 42 и гибрид Довиста в одновидовых и совместных посевах. По содержанию сухого вещества совместные посевы сорго сахарного и кукурузы занимают промежуточное положение по сравнению с одновидовыми посевами этих культур. Но за счет более высокой урожайности зеленой массы выход сухой массы с 1 га в совместных посевах был выше на 8,1-44,0%, чем в одновидовых. Наибольший сбор сухого вещества наблюдается в период восковой спелости зерна в варианте совместного посева гибридов сахарного сорго Довиста и кукурузы Быстрица 400 МВ – 22,7 т/га.

Анализ элементов структуры урожайности сорго сахарного и кукурузы показывает, что при совместном выращивании этих культур, по сравнению с одновидовыми посевами, уменьшается процентное содержание метелки, початков и листьев и возрастает процент стеблей.

Установлено преимущество совместных посевов сорго сахарного и кукурузы над одновидовыми. Так, по сравнению с кукурузой превышение урожайности зеленой массы и выхода биогаза составило, в среднем, 49,8 и 13,4%, а по сравнению с сорго сахарным – 13,0 и 44,5 %. Максимальная урожайность зеленой массы и расчетный выход биогаза был при совместном выращивании гибрида сорго сахарного Довиста и гибрида кукурузы Быстрица 400 МВ – 85,5 т/га и 10,3 тыс. м³/га.

Ключевые слова: сорго сахарное, кукуруза, совместные посевы, урожайность, зеленая масса, биогаз.

GRABOVSKIY Nicholay B., Cand. of Agrical. Sc., Associate Professor
Head of Department of crop and plant protection technology¹

GRABOVSKAYA Tatiana A., Cand. of Agrical. Sc., Associate Professor
Associate Professor of the Department of General Ecology and Ecotrophology¹

¹Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserka, Ukraine

KURILO Vasiliy L., Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Professor of Department of Agricultural Machines

Vinnitsa National Agrarian University, Vinnitsa, Ukraine

GROWING SWEET SORGHUM AND CORN AS BIOENERGETIC COMPATIBLE CROPS

Summary. *Corn as a raw material for the production of biogas from energy crops, is of the greatest importance mainly due to well developed technology of cultivation and ensiling. Sorghum is an alternative to corn, it produces biomass compositionally similar to corn and has a higher level of productivity.*

Corn hybrids Monica 350 MV, Bystriza 400 MV, sweet sorghum Silosne 42 variety and Dovista hybrid were sown in single-species and compatible crops in 2013-2016. The aim of the study was to determine the productivity of sweet sorghum and corn, and the calculated output of biogas.

In our study, the maximum weight of sweet sorghum and corn plants was formed during the dough-stage. This index was almost the same in single-species and compatible crops and amounted in Silosne 42 variety 611.8-618.7 g, in Dovista hybrid 725.2-733.2 g, in Monica 350 MV hybrid – 1050.4-1063.5 g., in Bistriza 400 MV hybrid – 1109.6-1116.4 g.

The yield of green mass of sweet sorghum is higher than in corn. Thus, on average over the years of research, sweet sorghum in single-species crops provides a yield of green mass 67.8-76.1 t/ha, which is 11.6-24.0 t/ha higher than in corn. In compatible crops the yield of green mass was 9.0-30.5 t/ha higher than in single-species crops. The highest level of yield of green mass was noted in the compatible crops of sweet sorghum Dovista hybrid and corn Bistriza 400 MV hybrid – 85.5 t/ha.

In the compatible crops of sweet sorghum and corn, the calculated output of biogas was 8.8-10.3 thsd m³/ha, which is more on 3.4-20.3% and 35.1-54.5% compared to single-species crops.

Keywords: *sweet sorghum, corn, compatible crops, yield, green mass, biogas.*

Введение. Создание совместных посевов – это достаточно сложная современная экологическая и хозяйственная проблема. Для их создания используются культуры, выращиваемые обычно в чистых посевах. Успешное решение этой проблемы невозможно без всестороннего изучения взаимоотношений между особями разных видов, складывающихся на уровне растительного сообщества. В связи с этим изучение биотических отношений, складывающихся в чистых и совместных посевах сельскохозяйственных культур, является весьма актуальным [1].

В практике сельского хозяйства совместные посевы несут, прежде всего, функциональную нагрузку. Чаще всего их роль связана с изменением качества урожая. Так, введение в посев бобового компонента преследует в первую очередь повышение содержания протеина в биомассе и увеличение его сбора с единицы площади. Кроме того, куль-

туры с прочным неполегающим стеблем часто вводятся в посев в качестве опоры для полегающих или стелющихся культур [2].

В процессе физиологических функций, связанных с потреблением питательных веществ и влаги, выделением через надземные и подземные части продуктов метаболизма, растения изменяют окружающую среду и являются, таким образом, экологическим фактором для произрастающих рядом растений и ассоциированных с ними прочих живых организмов. Поэтому в совместном посеве для каждого компонента создаются условия, отличные от чистого посева. Это отражается на характере поступления питательных веществ и влаги в растения и влияет не только на количество образуемой биомассы, но и на ее химический состав [3].

Кукуруза является основной силосной культурой, однако содержит низкий процент протеина и малое количество органических

веществ. В этом отношении весьма перспективным представляется сочетание кукурузы с сорго, которое способно формировать мощную вегетативную массу. Сходство фитоморфологических свойств обусловило легкую совместимость этих культур при возделывании и использовании. Очень важно и то, что смешанные посевы кукурузы и сорго более полно и продуктивно используют влагу и питательные вещества почвы, что определяет хорошую урожайность и питательность зеленой массы [4].

В настоящее время биогаз, произведенный в разных отраслях сельского хозяйства, составляет очень небольшую долю в энергетическом балансе, но, согласно независимым прогнозам, его производство в ближайшее десятилетие будет динамически развиваться со скоростью несколько десятков процентов в год и станет одним из крупнейших в так называемой «зеленой энергетической карте» [5].

Биогаз может быть получен из органических удобрений, органических отходов и биомассы многих видов растений. Важнейшим параметром при выборе видов растений для выращивания биогаза является выход чистой энергии с одного гектара, которая определяется главным образом выходом биомассы и продуктивностью самого метана [6]. Наиболее подходящими для его производства являются культуры с высоким содержанием углеводов и белков и низким – гемицеллюлозы и лигнина, которые характеризуются низкой способностью к биологическому разложению [7]. Для производства биогаза из энергетических культур кукуруза как сырье имеет наибольшее значение. Кукуруза как C4-растение обладает самым высоким урожайным потенциалом. Выращивание и хранение силосной кукурузы технически развито и широко оптимизировано [8]. Альтернативой кукурузе является сорго, которое производит биомассу, композиционно подобную биомассе кукурузы, и имеет более высокий уровень продуктивности [9].

До сих пор проводились исследования по выбору культур, наиболее подходящих к производству биогаза в Центральной Европе [10], но мало данных, оценивающих потенциал производства биогаза из видов растений, выращиваемых в Восточной Европе.

Целью исследований было определение урожайности сорго сахарного и кукурузы и расчетного выхода биогаза в одновидовых и совместных посевах.

Методика и объекты исследования. Полевые опыты проводили в течение 2013-2016 гг. в учебно-производственном центре Белоцерковского национального аграрного университета. Грунт опытного участка – чернозем типичный, среднемощный, малогумусный на карбонатном лессе. В опыте высевали гибриды кукурузы Моника 350 МВ и Быстрица 400 МВ, сорт сорго сахарного Силосное 42 и гибрид Довиста в одновидовых и совместных посевах. Соотношение рядов 2:2. Опыт закладывался по методу систематических повторений: в каждом повторении варианта опыта размещались по участкам последовательно. Предшественник в опыте – соя. Повторность в опыте – 4-кратная. Площадь участка – 39,2 м², учетная – 19,6 м². Агротехника в опытах соответствовала общепринятой для центральной Лесостепи Украины. Уборку производили в фазу восковой спелости зерна.

Исследования проводились согласно «Методике проведения опытов в кормопроизводстве» [11] и «Основам научных исследований в агрономии» [12]. Учет урожайности проводили путем взвешивания зеленой массы с каждого участка с последующим перерасчетом ее на гектар. Выход биогаза рассчитывали умножением биомассы на содержание сухого вещества и на удельный выход биогаза из 1 кг сухого вещества согласно методическим рекомендациям Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины [13].

Результаты и их обсуждение. По данным исследований Амон Т. и др. [14], у гибридов кукурузы Tonale, PR34G13, Tixhus, LZM 600, содержание сухого вещества изменяется от 18,0% до 19,4% в растениях, собранных в фазе молочной спелости зерна, 29,0-30,2% – в фазе восковой спелости зерна и 43,1-52,9% – в фазе полной спелости зерна.

Для силосования наиболее подходящей является биомасса растений с содержанием сухих веществ 30-40%. При содержании сухого вещества менее 20% ухудшаются свойства силоса, образуется значительное количество фильтрата и существенно снижается потенциал образования биогаза [15].

Мы в своих исследованиях определяли содержание сухого вещества и его сбор с 1 га, в разные фазы развития сорго сахарного и кукурузы. В фазу 6-7 листьев за счет высокого содержания сухого вещества (14,2-14,5%) одновидовые посевы кукурузы обеспечивали выше на 2,3-8,9% его сбор по сравнению с сорго сахарным (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика накопления сухого вещества в растениях сорго сахарного и кукурузы в одновидовых и совместных посевах, среднее за 2013-2016 гг.

Сорт, гибрид	Фаза роста и развития растений							
	6–7 листьев		цветение метелок		молочная спелость зерна		восковая спелость зерна	
	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га
Силосное 42	12,3	1,6	17,3	7,2	19,2	10,4	22,3	15,1
Довиста	13,4	2,0	18,2	8,5	20,3	12,4	23,4	17,8
Моника 350 МВ	14,2	1,9	20,1	6,5	27,2	11,3	30,7	16,0
Быстрица 400 МВ	14,5	2,1	20,7	7,2	27,6	12,4	32,2	18,1
Силосное 42 + Моника 350 МВ	13,3	2,0	18,7	8,8	23,2	14,3	25,3	19,5
Силосное 42+ Быстрица 400 МВ	13,4	2,1	19,0	9,3	23,4	14,9	26,0	20,8
Довиста+ Моника 350 МВ	13,8	2,2	19,2	9,7	23,8	15,7	25,9	21,4
Довиста+ Быстрица 400 МВ	14,0	2,4	19,5	10,2	24,0	16,4	26,6	22,7
НИР _{0,5} , т/га		0,1		0,3		0,5		0,7

Начиная с фазы цветения метелок и до восковой спелости зерна, темпы накопления сухого вещества в сорго сахарного превышают этот показатель у кукурузы. При этом содержание сухого вещества в сорго сахарного было ниже, чем у кукурузы на 1,9-9,8% в зависимости от периода учета.

По данным исследований Г.И. Левахина и др. [16], в фазу молочно-восковой спелости при содержании в растениях кукурузы сухого вещества 26%, в сахарном и зерновом сорго этот показатель составил, соответственно, 29 и 33%. Вместе с тем, если в последующий период от молочно-восковой спелости содержание сухого вещества в целых растениях сорго оставалась практически неизменным (28,5-33%), то в кукурузе оно резко возрастало и составило 39,7%. Столь значительный скачок содержания сухого вещества в целых растениях кукурузы объясняется интенсивным образованием початков. Кукуруза, длительное время оставаясь физиологически менее зрелой, чем сорговые культуры, в конце своего развития превзошла их по количеству сухого вещества.

По содержанию сухого вещества совместные посевы сорго сахарного и кукурузы занимают промежуточное положение по сравнению с одновидовыми посевами этих культур. Но за счет более высокой урожайности зеленой массы выход сухой массы с 1 га в совместных посевах был выше на 8,1-44,0%, чем в одновидовых.

Наибольший сбор сухого вещества наблюдается в период восковой спелости зерна в варианте совместного посева гибридов сахарного сорго Довиста и кукурузы Быстрица 400 МВ – 22,7 т/га.

Максимальную массу растения сорго сахарного и кукурузы формировали в фазу восковой спелости зерна. Данный показатель был практически одинаковым в одновидовых и совместных посевах и составил в сорта Силосное 42 – 611,8-618,7 г, гибрида Довиста – 725,2-733,2 г, гибрида Моника 350 МВ – 1050,4-1063,5 г, гибрида Быстрица 400 МВ – 1109,6-1116,4 г (таблица 2).

Анализ элементов структуры урожайности сорго сахарного и кукурузы показывает, что при совместном выращивании этих культур, по сравнению с одновидовыми посевами, уменьшается процентное содержание метелки, початков и листьев и возрастает процент стеблей. Так, в одновидовых посевах гибрида кукурузы Моника 350 МВ и Быстрица 400 МВ процент початков составляет 42,1 и 41,4%, а при выращивании из сорго сахарного – 40,4-40,5% и 40,6-40,7%. В одновидовых посевах сорта сорго сахарного Силосное 42 содержание метелки было на уровне 18,7%, а у гибрида Довиста – 18,0%. При совместном выращивании с кукурузой этот показатель составлял 16,6-17,0% и 16,6-16,9%.

Таблица 2 – Элементы структуры урожайности сорго сахарного и кукурузы в фазу восковой спелости зерна, среднее за 2013-2016 гг.

Сорт, гибрид	Содержание от общей массы							
	листьев		стеблей		початков		метелок	
	г	%	г	%	г	%	г	%
Силосное 42	68,7	11,2	428,6	70,1	–	–	114,5	18,7
Довиста	86,7	11,8	514,3	70,1	–	–	132,2	18,0
Моника 350 МВ	153,2	14,4	462,5	43,5	447,8	42,1	–	–
Быстрица 400 МВ	165,0	14,8	489,1	43,8	462,3	41,4	–	–
Силосное 42 + Моника 350 МВ*	59,8*	11,2	451,7	73,3	–	–	104,4	17,0
	147,3	14,0	478,1	45,5	425,0	40,5	–	–
Силосное 42+ Быстрица 400 МВ	63,4	10,2	452,6	73,2	–	–	102,7	16,6
	157,0	14,1	502,5	45,3	450,1	40,6	–	–
Довиста+ Моника 350 МВ	82,4	11,4	520,3	71,7	–	–	122,5	16,9
	150,2	14,2	480,7	45,4	427,6	40,4	–	–
Довиста+ Быстрица 400 МВ	83,5	11,4	525,1	72,0	–	–	120,8	16,6
	156,1	14,0	506,0	45,4	453,5	40,7	–	–
НИР _{0,5} , г	14,3		16,8		15,3		6,8	

*– в совместных посевах первая строка сорго сахарное, вторая - кукуруза

Содержание листьев сорго сахарного и кукурузы в одновидовых посевах составляет 11,2-11,8 и 14,4-14,8%, и за счет других компонентов уменьшается в совместных посевах на 0,8-0,9% в сорго сахарном и на 0,2-0,8% в кукурузе.

По урожайности зеленой массы сорго сахарное превышает кукурузу. Так, в среднем за годы исследований, сорго сахарное в одновидовых посевах обеспечивает урожайность зеленой массы 67,8-76,1 т/га, что на 11,6-24,0 т/га превышает данный показатель у кукурузы (таблица 3).

В совместных посевах этих культур урожайность зеленой массы на 9,0-30,5 т/га была выше по сравнению с одновидовыми. Самый высокий уровень урожайности зеленой мас-

сы отмечен при выращивании гибридов сорго сахарного Довиста и кукурузы Быстрица 400 МВ – 85,5 т/га. При замене гибрида Быстрица 400 МВ на Моника 350 МВ урожайность уменьшается с 3,4% до 82,6 т/га. Применение в качестве компонента смеси сорта сорго сахарного Силосное 42 позволяет получить урожайность зеленой массы на уровне 76,8-79,7 т/га, что на 5,6-5,8 т/га меньше по сравнению с вариантом где высевали гибрид Довиста.

Результаты наших исследований подтверждают данными С.К. Абеуова [4], который отмечает, что смешанный кукурузо-сорговый посев превосходит по продуктивности отдельный посев кукурузы на 27%.

Таблица 3 – Урожайность зеленой массы кукурузы и сорго сахарного в одновидовых и совместных посевах, т/га

Сорт, гибрид	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее
Силосное 42	71,8	73,9	45,9	79,5	67,8
Довиста	80,2	82,7	51,2	90,1	76,1
Моника 350 МВ	53,6	57,5	40,3	57,0	52,1
Быстрица 400 МВ	57,8	61,2	43,2	62,7	56,2
Силосное 42 + Моника 350 МВ*	80,7	84,9	53,2	88,5	76,8
Силосное 42+ Быстрица 400 МВ	83,6	87,5	55,3	92,4	79,7
Довиста+ Моника 350 МВ	86,6	91,0	57,0	95,9	82,6
Довиста+ Быстрица 400 МВ	89,5	93,6	59,0	99,9	85,5
НИР _{0,5} , т/га	2,5	2,6	2,1	3,0	2,8

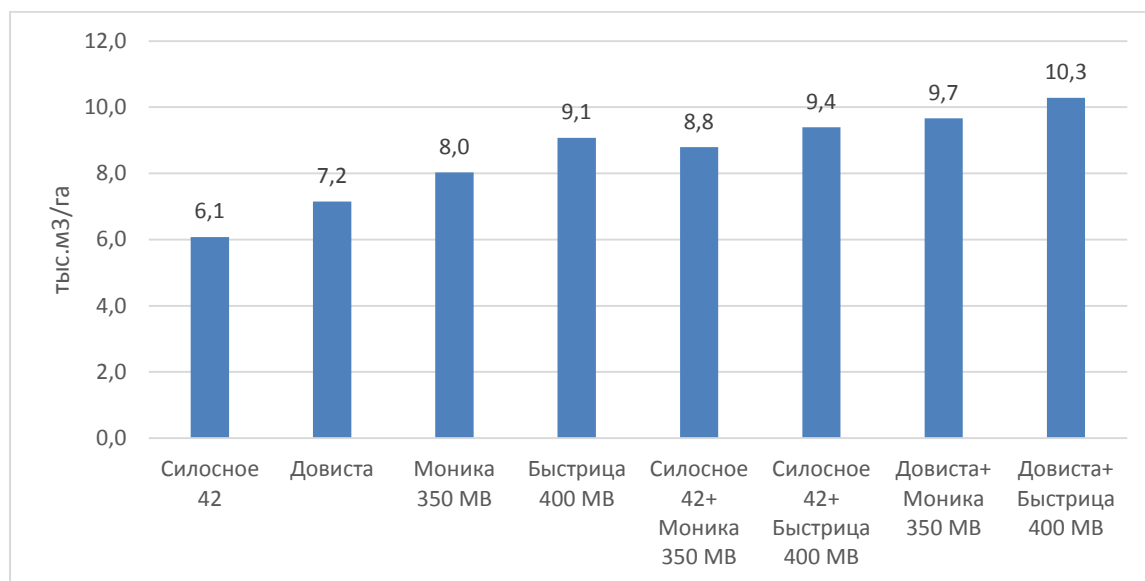


Рисунок – Расчетный выход биогаза из биомассы кукурузы и сорго сахарного в одновидовых и совместных посевах, тыс. м³/га (НИР_{0,5} – 0,7)

Лучшим сроком скашивания смеси является момент, когда растения кукурузы достигнут фазы формирования зерна, а растения сорго будут находиться в молочно-восковой спелости. Именно в этот момент наиболее высок выход зеленой массы и основных питательных веществ.

Урожайность зеленой массы сорго сахарного и кукурузы зависит и от гидротермических условий вегетационного периода. Так, влагообеспеченность в 2013-2014 гг. и 2016 годах была выше на 24,6-43,2%, чем в 2015 году.

Анализ расчетного выхода биогаза из биомассы сорго сахарного и кукурузы свидетельствует, что при одновидовом посеве он составил в сорго сахарном 6,1-7,2 тыс. м³/га и 8,0-9,1 тыс. м³/га в кукурузе (рисунок).

По совместном посеве этих культур он был в пределах 8,8-10,3 тыс. тис. м³/га, что больше на 3,4-20,3% и 35,1-54,5% по сравнению с одновидовыми посевами сорго сахарного и кукурузы.

Как отмечают в своих исследованиях А. Mahmood и др. [9], более высокий выход биомассы имеет первостепенное значение для оценки производства биогаза с единицы площади. Удельный выход метана из некоторых сортов сорго сахарного был чрезвычайно высоким, но из-за сокращения урожайности биомассы чистый прирост в отношении выхода метана с 1 гектара был ниже. Выходы биогаза и метана из некоторых сортов: Maja, Lussi, Branko, Supersile 20, KSH 6301 и Supersile были сопоставимы с данными, по-

лученными из биомассы кукурузы. Следовательно, сорго сахарное можно использовать как альтернативу кукурузе при производстве биогаза.

Выводы. Совместные посевы сорго сахарного и кукурузы формировали относительно высокую урожайность зеленой массы на уровне 76,8–85,5 т/га. Схожесть в биологических особенностях развития сорго сахарного и кукурузы и их различная реакция на стрессовые факторы среды позволяют в более полной мере использовать климатические ресурсы. Установлено преимущество совместных посевов сорго сахарного и кукурузы над одновидовыми. Так, по сравнению с кукурузой, превышение урожайности зеленой массы и расчетного выхода биогаза составило, в среднем, 49,8 и 13,4%, а по сравнению с сорго сахарным – 13,0 и 44,5 %. Максимальная урожайность зеленой массы и расчетный выход биогаза был при совместном выращивании гибрида сорго сахарного Довита и гибрида кукурузы Быстрица 400 MB – 85,5 т/га и 10,3 тыс. м³/га.

Таким образом, одним из эффективных способов выращивания сорго сахарного и кукурузы как биоэнергетических культур для получения биогаза является их совместный посев.

Список литературы

1. Белюченко, И.С. Экологические основы функционирования смешанных посевов в агроландшафтах Кубани / И.С. Белюченко

- // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №101(07). – С.522-551.
2. Белик, Н.Л. Агрофитоценозы, их строение и биологические основы повышения продуктивности / Н.Л. Белик // Биология и экология культурных растений. – Тамбов. – 1994. – С. 1–9.
3. Белюченко, И.С. Эволюционная экология / И.С. Белюченко. – Краснодар: изд-во КГАУ, 2001. – 504 с.
4. Абеуов, С.К. Поливидовые посевы, особенности единства и противоречий / С.К. Абеуов // Потенциал современной науки. – 2014. – №6. – С. 10-13.
5. Guide for investors interested in construction of agricultural biogas plants / A. Curkowski et all // Instytut Energetyki Odnawialnej. – Warszawa. – Poland. – 2011. – 126 p.
6. Evaluation of biochemical potential (BMP) of various energy crops./ A. Kacprzak et all // 3rd international conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation Beijing, China, 2010. – p. 5.
7. El Bassam N. Energy plant species-their use and impact on environment / N. El Bassam. – London, UK, 1998. – 200 p.
8. Biogas Production from Energy Maize / Th. Amon [et all] / Landtechnik. – 2006. – №2. – pp.86-87.
9. Evaluation of sorghum cultivar for biomass and biogas production / Mahmood A. [et all] // Aust. J. Crop Sci. – 2013. – 7(10). – pp.1456-1462.
10. Weiland, P. Production of energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany / P. Weiland // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2003. – vol. 109. – p. 263–274.
11. Методика проведення дослідів з кормовиробництва / Під ред. А.О. Баби́ча – Вінниця. – 1994. – 87 с.
12. Основи наукових досліджень в агрономії / під ред. В. О. Єщенка. – К.: Дія. – 2005. – 288 с.
13. Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива / О.М. Ганженко, В.Л. Курило, Л.А. Герасименко, П.Ю. Зиков, О.Б. Хіврич, Г.С. Гончарук, В.М. Смірних, Ю.П. Дубовий, О.Г. Іванова. – К.: Компринт, 2017. – 22 с.
14. Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield / Amon T. Et all // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2007. – №118. – pp. 173-182.
15. Braun, R. Biogas from energy crop digestion / R. Braun, P. Weiland, A. Wellinger – In IEA Bioenergy Task. – 2008. – Vol. 37. – pp. 1-20.
16. Левахин, Г.И. Результаты оценки состава сорговых культур по фазам вегетации для кормовых целей / Г.И. Левахин, Г.К. Дускаев, Е.В. Айрих // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – №2. – С. 10-15.

References

1. Beljuchenko I.S. Jekologicheskie osnovy funkcionirovanija smeshannyh posevov v agrolandshaftah kubani [Ecological bases of functioning of mixed crops in agro landscapes of the Kuban]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific journal of KubGAU], 2014, no 101 (07), pp. 522-551. (In Russian)
2. Belik N.L. Agrofitocenozy, ih stroenie i biologicheskie osnovy povyshenija produktivnosti [Agrophytocenoses, their structure and biological bases for increasing productivity] *Biologija i jekologija kul'turnyh rastenij* [Biology and ecology of cultivated plants]. –Tambov, 1994, pp. 1–9. (In Russian)
3. Beljuchenko I.S. *Jevoljucionnaja jekologija* [Evolutionary ecology]. Krasnodar, 2001, 504 p. (In Russian)
4. Abeuov S.K. Polividovye posevy, osobennosti edinstva i protivorechij [Polyspecific crops, especially unity and contradictions]. *Potencial sovremennoj nauki* [The Potential of Modern Science], 2014, no6, pp. 10-13. (In Russian)
5. Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Mroczkowski P., Zowsik M., Wiśniewski G. *Guide for investors interested in construction of agricultural biogas plants* Instytut Energetyki Odnawialnej. Warszawa, Poland, 2011, 126 p.
6. Kacprzak A., Krzystek L., Ledakowicz S., Książak J. Evaluation of biochemical potential (BMP) of various energy crops: 3rd international conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation. Beijing, China, 2010, p. 5.
7. El Bassam N. Energy plant species-their use and impact on environment. London, UK, 1998. 200 p.
8. Amon Th, Kryvoruchko V., Amon B., Bodiroza V., Zollitsch W., Boxberger J.

- Biogas Production from Energy Maize*. Landtechnik, 2006, no2. pp.86-87.
9. Mahmood, A., Ullah H., Ijaz M., Naeem A.S., Honermeier B. Evaluation of sorghum cultivar for biomass and biogas production. Aust. J. Crop Sci., 2013, 7(10). pp.1456-1462.
10. Weiland P. Production of energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2003, vol. 109. pp. 263-274.
11. *Metodyka provedennja doslidiv z kormovyrobnyctva* [The method of conducting experiments on fodder production] (1994) / pid red. A.O. Babycha. Vinnycja, 87 p.
12. *Osnovy naukovyh doslidzhen' v agronomii'* [Fundamentals of research in agronomy] (2005) / pid red. V. O. Jeshhenka. Kiev, 288 p.
13. Methodical recommendations of technology cultivation and processing of sorghum as material for biofuel production. O.M. Ganzhenko, V.L. Kurilo, L.A. Gerasimenko, P.Yu. Zikov, O.V. Hivrich, G.S. Goncharuk, V.M. Smirny, Yu. P. Dubovy, O. G. Ivanova Kiev, 2017, 22 p. [In Ukrainian]
14. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, no 118. pp. 173-182.
15. Braun, R., Weiland, P., Wellinger, A. Biogas from energy crop digestion. In IEA Bioenergy Task, 2008, Vol. 37. pp. 1-20.
16. Levahin G.I., G.K. Duskaev, E.V. Ajrih. Rezul'taty ocenki sostava sorgovyh kul'tur po fazam vegetacii dlja kormovyh celej [The results of evaluation of the composition of sorghum crops growing phases for feeding purposes]. *Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Gorsky State Agrarian University], 2015, no 2, pp. 10-15. (In Russian)

Received 19 September 2018